

УДК 004.93

Л.Г. АХМЕТШИНА, А.А. ЕГОРОВ  
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

### УЛУЧШЕНИЕ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ НЕЧЕТКОЙ ГИПЕРБОЛИЗАЦИИ ГИСТОГРАММЫ

Данная работа посвящена описанию метода адаптивной нечеткой гиперболизации гистограмм, который применяется для повышения контраста. Предложенный метод благодаря использованию статистических характеристик текущего окна преобразования и всего изображения в целом позволяет обеспечить более высокий уровень повышения как контраста, так и яркости. Представлены результаты экспериментальных исследований возможностей предложенного метода на примере обработки полутоновых медицинских изображений различной физической природы.

Ключевые слова: обработка изображений, повышение контраста, нечеткие преобразования, адаптивный расчет управляющего параметра.

Л.Г. АХМЕТШИНА, А.О. ЕГОРОВ  
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

### ПОКРАЩЕННЯ СЛАБКОНТРАСТНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ АДАПТИВНОЇ НЕЧІТКОЇ ГІПЕРБОЛІЗАЦІЇ ГІСТОГРАМ

Ця робота присвячена опису метода адаптивної нечіткої гіперболізації гістограм, що застосовується для підвищення контрасту. Запропонований метод завдяки використанню статистичних характеристик поточного вікна перетворення та всього зображення в цілому дозволяє забезпечити більш високий рівень підвищення як контрасту, так і яскравості. Наведено результати експериментальних досліджень можливостей запропонованого алгоритму, що підтверджують його ефективність на прикладі обробки напівтонових медичних зображень різної фізичної природи.

Ключові слова: обробка зображень, підвищення контрасту, нечіткі перетворення, адаптивний розрахунок керуючого параметру.

L.G. AKHMETSHINA, A. A. YEGOROV  
Dneprovsk National University named by Oles Honchar

### THE ENHANCEMENT OF LOW-CONTRAST IMAGES BASED ON ADAPTIVE FUZZY HISTOGRAM HYPERBOLIZATION

This article is devoted to description of the adaptive fuzzy histogram hyperbolization algorithm for the contrast enhancement. This algorithm allows getting higher level of contrast and brightness enhancing owing to using the current transformation windows and whole image statistical characteristics. The experimental researches of the proposed algorithm abilities confirm its efficiency for processing of grayscale medical images of the different physical nature.

Keywords: image processing, contrast enhancement, fuzzy transformations, the adaptive calculation of the control parameter.

#### Постановка проблеми

Повышение качества изображений является сложной и многоплановой задачей. Ее сложность заключается в разнообразии целей обработки (в частности, для визуального или машинного анализа) и характеристик исходных изображений, а также в отсутствии универсальных критериев оценки качества полученных результатов [1, 2], что затрудняет выбор соответствующих методов.

При улучшении качества изображений нередко приходится осуществлять и повышение контраста. Решение этой задачи может существенно усложняться недостаточным уровнем яркости исходного изображения, наличием областей с высоким и низким контрастом в пределах одного снимка, шумом и другими факторами. Существующие методы повышения контраста, к сожалению, не обладают универсальностью: эффективность их применения существенно зависит от типа обрабатываемого изображения. Кроме того, нередко используемые методы имеют управляющие параметры, которые требуют ручной настройки при обработке разных изображений и оказывают существенно влияние на получаемые результаты. Таким образом, разработка новых или модификация существующих методов является актуальной задачей.

**Анализ публикаций по теме исследования**

В настоящее время для повышения качества (в частности, яркости и контраста) изображений используются различные методы, включая гистограммные, пространственные и нечеткие преобразования. Среди них особого внимания заслуживают алгоритмы, осуществляющие коррекцию гистограммы, а также нечеткие методы. Первые интересны высокой скоростью работы, т.к. манипулируют уровнями яркости изображения в целом, а не каждого его пикселя. Примерами таких методов могут служить эквализация гистограммы и адаптивная эквализация гистограммы [1]. Нечеткая обработка, характеризующаяся более высокой адаптивностью, предполагает переход в новое пространство признаков (фаззификацию), выполнение определенных нечетких операций и дефаззификацию (предполагает снова переход в другое пространство признаков). Представителем семейства таких алгоритмов является метод, основанный на применении усиливающего оператора, который описан в работе [3, 4]. Особый интерес представляет также объединение этих двух подходов в рамках одного алгоритма, примером чего может служить метод нечеткой гиперболизации гистограмм, описанный в работе [5].

**Цель статьи**

В данной статье описывается алгоритм улучшения слабоконтрастных изображений на основе адаптивной нечеткой гиперболизации гистограммы, который благодаря использованию статистических характеристик текущего окна преобразования и всего изображения в целом позволяет обеспечить более высокий уровень повышения контраста и яркости.

**Основная часть**

Предложенный в данной работе алгоритм состоит из следующих шагов.

1. Масштабирующее преобразование каждого цветового канала исходного изображения на  $[0,1]$ .
2. Каждый цветовой канал исходного изображения разбивается на неперекрывающиеся окна заданного размера (рекомендуется использовать размеры окон от  $3 \times 3$  до  $6 \times 6$  пикселей, после чего становится визуально различимым «оконный эффект»).
3. Для пикселей текущего окна  $w_{x,y}$  формируется значение функции принадлежности  $\mu_{x,y}$  по следующей формуле:

$$\mu_{x,y} = (w_{x,y} - w'_{\min}) / (w'_{\max} - w'_{\min}), \tag{1}$$

где,  $w'_{\max}$  и  $w'_{\min}$  вычисляются так:

$$w'_{\max} = w_{\max} \cdot K_w + I_{\max} \cdot (1 - K_w), \tag{2}$$

$$w'_{\min} = w_{\min} \cdot K_w + I_{\min} \cdot (1 - K_w), \tag{3}$$

$$K_w = \max\left(\left|\bar{w} - \bar{I}\right| \cdot \left|\bar{w} - 0.5\right| - \bar{w}' + \bar{I}, 0\right), \tag{4}$$

$$\bar{w}' = (\bar{w} + \bar{I} + 0.5) / 3, \tag{5}$$

причем  $w_{\min}$ ,  $\bar{w}$ ,  $w_{\max}$  и  $I_{\min}$ ,  $\bar{I}$ ,  $I_{\max}$  – минимальные, средние и максимальные значения для текущего окна и выбранного цветового канала исходного изображения, соответственно. Использование коэффициента  $K_w$  позволяет, с одной стороны, адаптивно учитывать характеристики текущего окна преобразования при вычислении значений функции принадлежности, а с другой – минимизировать появление на выходном изображении «оконного эффекта» (визуальную различимость стыков соседних окон преобразования).

4. Пиксели текущего окна подвергаются следующему преобразованию:

$$w^1_{x,y} = \frac{(1 - 1/256) \cdot (w_{x,y})^{1 - (w_{x,y} + \bar{w}')/2}}{e^{-w_{x,y}} - w_{x,y}} \cdot \left( e^{(-\mu_{x,y})^\beta} - w_{x,y} \right), \tag{6}$$

где  $\beta$  – фаззификатор, значение которого оказывает существенное влияние на получаемый результат. Это преобразование также осуществляет повышение яркости, т.к. данный метод малоэффективен при работе с темными изображениями. Одной из особенностей предложенного алгоритма является автоматическое (в отличие от исходного метода) адаптивное вычисление значения  $\beta$  на основе среднего значения яркости как текущего окна преобразования, так и всего изображения в целом по следующей формуле:

$$\beta = \bar{I} + \bar{w}' + (\bar{w} - \bar{I}) \cdot \left(1 - (\bar{w} - \bar{I}) - (\bar{I} - 0.5)\right). \tag{7}$$

5. На последнем шаге происходит пропорциональное повышение яркости и контраста на основе степенных преобразований:

$$w_{x,y}^2 = \left( w_{x,y}^1 \right)^{1 - \left( w_{x,y}^1 \cdot \left( 1 - w \right)^{1 + \bar{I}} \right)^{1 - \left( w_{x,y}^1 + w \right) / 2}} \tag{8}$$

Необходимость последнего шага также обусловлена тем, что данным методом после выполнения преобразования (6) (при использовании функции принадлежности, описанной выражением (1)) не обеспечивается достаточное повышение яркости для визуального анализа исходно темных изображений.

**Экспериментальные результаты.** Предложенный в данной статье алгоритм был применен при обработке различных полутоновых изображений, примерами которых могут служить медицинские снимки, представленные на рис.1 и 2.

На рис. 1 а приведено полутоновое медицинское изображение, которое представляет собой томограмму головного мозга, выполненную с целью диагностики наличия гематомы, а также определения области ее влияния в случае выявления. По гистограмме исходного изображения (рис. 1 б) можно сделать вывод о том, что, в целом, изображение не является низкоконтрастным. Однако диагностирование гематомы по исходному снимку затруднено из-за ее расположения на низкоконтрастном участке изображения (фрагмент, обведенный прямоугольником), а область ее влияния визуально неразличима. Введение рентгеноконтрастного вещества (рис. 1 в) хоть и позволяет более четко выделить гематому, однако не выявляет области ее влияния.

На рис. 2 а представлена спин-решетчатая T1 релаксация ЯМР (ядерного магнитного резонанса) участка головного мозга, из гистограммы которой (рис. 2 б) следует, что данное изображение является темным.

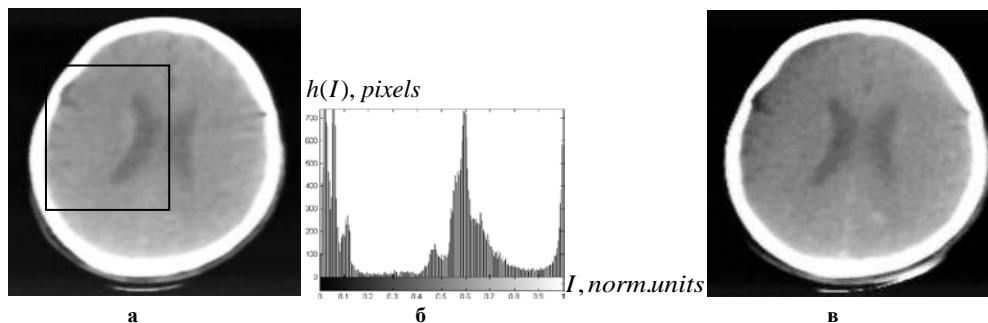


Рис. 1. Рентгеновская томограмма головного мозга: а – исходный полутоновой снимок (204x201); б – гистограмма; в – результаты введения рентгеноконтрастного вещества

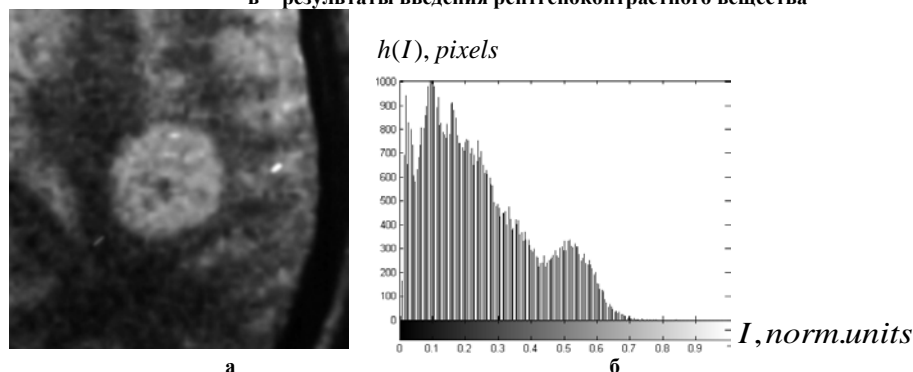


Рис. 2. Спин-решетчатая T1 релаксация ЯМР участка головного мозга: а – исходный полутоновой снимок (256x256); б – его гистограмма

На рис. 3 приведены результаты обработки исходного изображения (рис. 1 а) исходным и предложенным в данной работе методами. Повышение контраста на основе исходного метода нечеткой гиперболизации гистограммы (рис. 3 а, б) не позволяет выделить гематому, а только область ее влияния. При этом недостаточно четко выделяется структура изображения. Особо стоит отметить, что при использовании исходного алгоритма возникает необходимость ручного подбора параметра  $\beta$ . Как видно из полученных результатов (рис. 3 а, б) изменение этого параметра оказывает существенное влияние на результат: значения, меньшие 1, приводят к «осветлению» изображения, а большие – к «затемнению». Применение предложенного в данной работе алгоритма (рис. 3 в, г) позволяет выделить все объекты интереса, а также структуру изображения. При этом не возникает необходимости в ручном подборе значения параметра  $\beta$ . Следует также отметить, что с увеличением размерности окна становится несколько более визуально различимым «оконный» эффект.

На рис. 4 приведені результати обробки зображення, представленого на рис. 2 а. Т.к. це темне зображення, то застосування як вихідного, так і запропонованого методів (рис. 4 а, б) не дозволяють отримати достаточний для візуального аналізу рівень яркості, порівняно з використанням еквалізації гистограми (рис. 4 в). Однак запропонований метод краще виділяє структуру об'єкта і забезпечує більш високий рівень яркості порівняно як з вихідним алгоритмом, так і з еквалізацією гистограми. Також запропонований метод дозволяє отримати більш високий рівень яркості порівняно з вихідним алгоритмом.

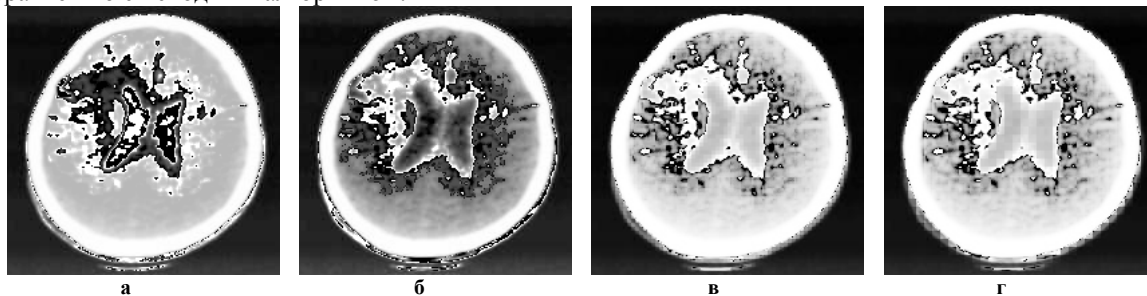


Рис. 3. Обробка зображення на рис. 1. а: вихідним методом: а –  $\beta = 0.9$ , б –  $\beta = 1.1$ ; запропонованим методом з розміром вікна: в –  $3 \times 3$ , г –  $6 \times 6$  пікселів, відповідно

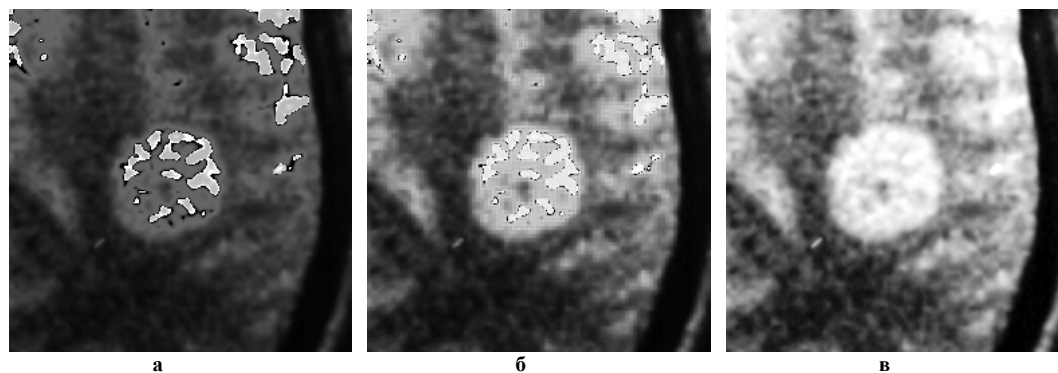


Рис. 4. Обробка зображення на рис. 2. а: а – вихідним методом ( $\beta = 0.9$ ); б – запропонованим методом з розміром вікна  $3 \times 3$  пікселів, в – методом еквалізації гистограми

### Висновки і перспективи подальших досліджень

На основі отриманих експериментальних результатів можна зробити наступні висновки:

1. Запропонований алгоритм адаптивної нечіткої гіперболізації гистограми:
  - дозволяє досягти більш високої ступеня підвищення контраста і яркості порівняно з вихідним алгоритмом;
  - забезпечує більш високу деталізацію результатів обробки порівняно з використанням традиційних гистограмних перетворень;
  - автоматично адаптивно розраховує керуючий параметр  $\beta$ ;
  - розмір вікна, єдиним керуючим параметром алгоритму. При цьому збільшення розміру вікна веде до появи візуально розрізнимого «віконного ефекту»;
  - при обробці темних зображень запропонований алгоритм не забезпечує достаточного для візуального аналізу рівня підвищення яркості.
2. Перспективним напрямком досліджень є пошук більш ефективного способу підвищення яркості для темних зображень, що може бути досягнуто шляхом зміни перетворення (8), а також використання інших функцій приналежності (1)).

### Список використаної літератури

1. Гонсалес Р. Цифрова обробка зображень / Р. Гонсалес, Р. Вудс; [пер. з англ. під ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
2. Pratt W.K. Digital Image Processing / W.K. Pratt – New York; – Chichester; Weinheim; Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.
3. Pal Sankar K., Image Enhancement using Smoothing with Fuzzy Sets / Sankar K. Pal, Robert A. King // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1981. – vol. SMC-11, No. 1. – P. 494 – 501.
4. Егоров А. Оптимізація яркості зображень на основі нейро-фаззи технологій / А. Егоров, Л. Ахметшина // Монографія. Изд. Lambert. – 2015. – 139 с.
5. Tizhoosh Hamid R., Fochem Manfred Fuzzy Histogram Hyperbolization for Image Enhancement / Hamid R. Tizhoosh, Manfred Fochem // Proc. Of EUFIT'95. – 1995 – vol. 3. – P. 1695 – 1698.